

УДК 629.119.5

А.И. ТАРАСОВ, д-р техн. наук; проф. НТУ «ХПИ», г. Харьков

В.Б. ТИТОВ, канд. техн. наук; с.н.с. НТУ «ХПИ», г. Харьков

И.А. МИХАЙЛОВА, инженер I кат., ас. НТУ «ХПИ», г. Харьков

МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕЧЕНИЯ В РАБОЧЕЙ КАМЕРЕ СЧЕТЧИКА РАСХОДА КАПЕЛЬНОЙ ЖИДКОСТИ

Виконане *CFD* моделювання течії в проточній частині лічильника витрати рідини. Показано, що використовувана математична модель адекватна і дозволяє враховувати вплив особливостей конструкції лічильника на витратну характеристику.

CFD-analysis of the flow path of the liquid rate meter was developed. It was proved that of the mathematic model is adequate and allowed to study specific of the meter design on the flow rate characteristic.

Разработаны и эксплуатируются большое количество счётчиков жидкости различных конструкций и параметров, которые соответствуют требованиям ДСТУ и других нормативных документов. Однако для решения ряда практических задач необходимы приборы с особыми свойствами. Так одной из проблем, с которой сталкиваются владельцы автогазозаправочных пунктов (АГЗП) и газонаполнительных станций (АГНС) является достоверный учет сжиженного газа при его отпуске в баллоны автомобилей и для бытовых нужд населения. Традиционно наибольшее распространение в этой области получили счетчики жидкости объемного типа с овальными шестернями ШЖУ-25-16 или ППО-25-1,6 [1] производства Ливненского завода «Промприбор», Россия, поставки которых в Украину в настоящее время по известным причинам ограничены, а парк имеющихся изношен (80 % эксплуатируемых счетчиков произведено в 1985–1995 годах). Их использование на АГЗП и АГНС носит вынужденный характер и по многим параметрам эксплуатация в данных условиях не соответствует техническим условиям. Так, например, заправка сжиженного газа в баллон происходит в переменном режиме работы счетчика и по мере заполнения баллона расход сжиженного углеводородного газа (СУГ) уменьшается. Замеры показывают, что средний расход за время заполнения баллона объемом 50 литров составляет $(1,3–1,5) \text{ м}^3/\text{ч}$ и при этом около 30 % времени счетчик работает в нерасчетной зоне своей характеристики с расходами ниже минимально допустимого паспортного значения. В этой зоне погрешности счетчика существенно возрастают – газ продолжает поступать в баллон, а его достоверный учет не происходит. Аналогичные проблемы имеют место и при использовании заправочных колонок, где в качестве расходомерных устройств применяют крыльчатые, турбинные счетчики, а иногда и приборы электромагнитного или ультразвукового типов. Изучение технической документации и испытания счетчиков указанных типов показали, что допускаемые погрешности здесь также велики, особенно в режимах малых расходов. Поэтому создание счетчиков капельной жидкости простых по конструкции и обеспечивающих высокую точность измерения в широком диапазоне изменения расходов является актуальной задачей.

Как показал анализ, заводы-изготовители счетчиков жидкости в силу их монопольного положения вносят изменения в конструкцию достаточно неохотно. Причем, как и ранее, обоснование этих изменений обычно базируется на экспериментальных исследованиях. Таким образом, реализуется достаточно затратный

по времени и материальным ресурсам подход – проектирование – изготовление – эксперимент – перепроектирование. Авторам не известны работы, в которых анализ работы счетчиков выполнялся бы на основе *CFD*-подхода, т.е. численного моделирования течения вязкой жидкости в его проточной части. Поскольку такой подход открывает значительные возможности в направлении совершенствования конструкции счетчиков в настоящей работе подвергнут *CFD*-анализу один из типов рабочей камеры таких счетчиков, а именно с ротором крыльчатого типа.

Рассмотрены две конструкции рабочей камеры, отличающиеся конфигурацией внутренней полости. При этом конструкция крыльчатки оставалась без изменений. Первая конструкция счетчика была близка к конструкции стандартных счетчиков воды типа СВК-15 (рис. 1). Она отличалась достаточной сложностью с точки зрения моделирования и имела радиальные рёбра на нижнем доннышке корпуса, а в верхней части – обводные каналы. Крыльчатка счетчика располагалась в подшипниках скольжения и свободно вращалась в корпусе. Радиальный зазор между корпусом и крыльчаткой составлял 2 мм. Зазоры между верхней крышкой и нижним дном корпуса и колесом крыльчатки доходили до трех миллиметров. Таким образом, имелись условия для свободного перетекания жидкости по указанным зазорам. Для данной конструкции была экспериментально установлена расходная характеристика счетчика, в котором в качестве рабочей жидкости использовалась вода (рис. 2). Испытание счётчика проводились с использованием универсальной поверочной установки (УПС), где усреднённый за время опыта расход воды определялся объёмно-временным методом с погрешностью не превышающей $\pm 0,15\%$.

Задачей расчетного исследования являлось методическое обоснование математической модели течения в крыльчатом счетчике с целью дальнейшего совершенствования его конструкции. В результате удалось обосновать адекватность математической модели, а также установить расходную характеристику счетчика и меру влияния на нее отдельных элементов конструкции.

Обычно краевая задача, описывающая течение вязкой жидкости, предполагает задание граничных условий на входе в рассматриваемый объем и на выходе из него, а также условия на стенках.

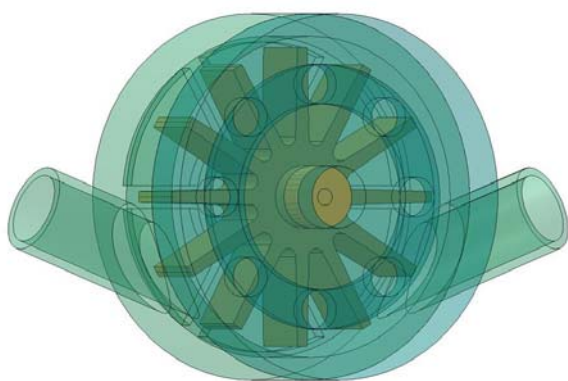


Рис. 1. Модель счетчика с рабочей камерой типа СВК-15

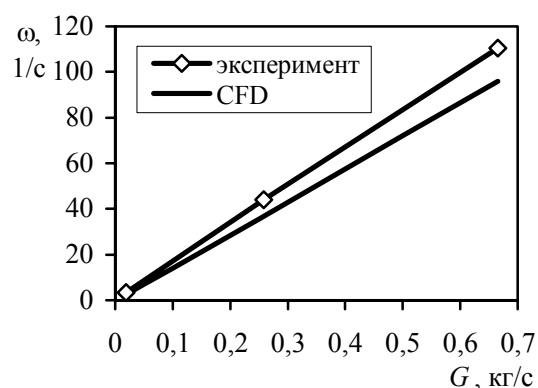


Рис. 2. Расходная характеристика счетчика – скорость вращения крыльчатки в зависимости от расхода

Условия на входе и выходе обычно определены: в данном случае на входе задавался расход жидкости, а на выходе – статическое давление. На неподвижных

стенках задавалось условие прилипания. В тоже время условия на крыльчатке остаются неопределенными, так как не известна скорость ее вращения. Для замыкания краевой задачи было принято допущение об отсутствии трения в осях крыльчатки, что позволило находить скорость вращения из условия равенства нулю результирующего момента сил давления и трения, действующего на крыльчатку. Поскольку в алгоритме численного анализа задание этого условия не было предусмотрено, то задача решалась подбором такой скорости вращения, которая приводила к нулевому моменту сил.

Задача решалась в трехмерной постановке. Модель проточной части счетчика содержала 165–200 тысяч элементов. Использовалась $k-\varepsilon$ модель турбулентности с пристеночными функциями, что позволяло получать достаточно точные решения на относительно грубых сетках, для которых безразмерное расстояние от стенки до первой центральной точки элемента было больше толщины вязкого подслоя и составляло приблизительно $Y^+ = 80-90$.

Проведенные расчеты показали, что предложенная модель определения скорости вращения крыльчатки в достаточной мере адекватно отражает реально происходящий процесс. Расчетные скорости вращения отличались от экспериментальных данных в среднем на 14 % (рис. 2). Очевидно, что трудно ожидать лучшего совпадения, учитывая сложность трехмерного моделирования течения, погрешности модели турбулентности, численные погрешности, обусловленные конечным размером элементов сетки. Поэтому модель расчета может быть использована в следующем этапе работы – при решении задачи повышения чувствительности счетчика.

Результаты моделирования показали, что течение в рабочей камере носит сложный трехмерный характер. Жидкость, поступая из напорного трубопровода, ударяясь о ближайшую лопатку крыльчатки, передает ей определенный момент вращения и далее растекается в имеющиеся зазоры (рис. 3–4). По сути дела основная масса жидкости перетекает из напорного в сбросной трубопровод, минуя лопатки. В пространстве между лопатками наблюдаются слабые вихревые образования, которые переносятся в окружном направлении совместно с крыльчаткой. Между жидкостью, вращающейся с крыльчаткой, и жидкостью в обводном канале в верхней части счетчика, а также в зоне донного оребрения имеют место слабые обменные процессы.

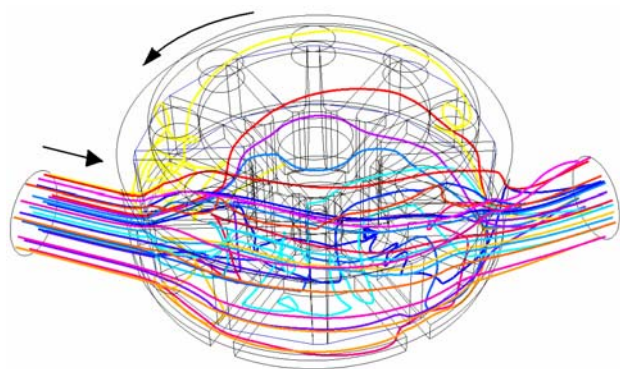


Рис. 3. Структура течения в рабочей камере

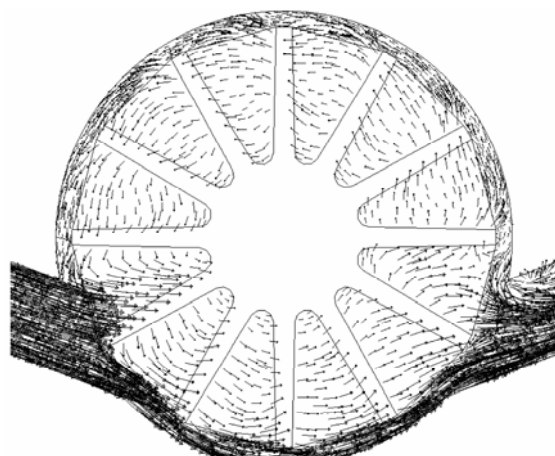


Рис. 4. Структура течения в среднем сечении счетчика

Наличие таких соединенных между собой «емкостей» приводит к значительному выравниванию давления. Так падение давления в счетчике при расходе воды 0,25 кг/с составляло 5200 Па.

Для увеличения чувствительности счетчика необходимо было уменьшить зазоры. Это было выполнено во втором варианте конструкции счетчика, где верхняя и нижняя части корпуса были сделаны в виде плоских стенок. Расстояние от крыльчатки до стенок составляло 1 мм. Радиальные зазоры были сохранены прежними, т.е. 2 мм.

Расчеты показали, что чувствительность этой конструкции счетчика выше, чем в исходной в среднем на 17 % (рис. 5). Это явилось следствием уменьшения протечек в зазорах между крыльчаткой и верхним и нижним основаниями корпуса счетчика. В результате произошло перераспределение рабочей жидкости – большая, чем в предыдущем варианте часть ее производит полезную работу воздействуя на лопатки в той зоне, где создается положительный момент вращения потоком жидкости. В активной части камеры находятся лопатки в положениях 1, 2, 11, 12 (рис. 6). Лопатки в положениях 4 и 10 противодействуют перетеканию жидкости в направлении обратном вращению крыльчатки, и на них создается отрицательный момент вращения.

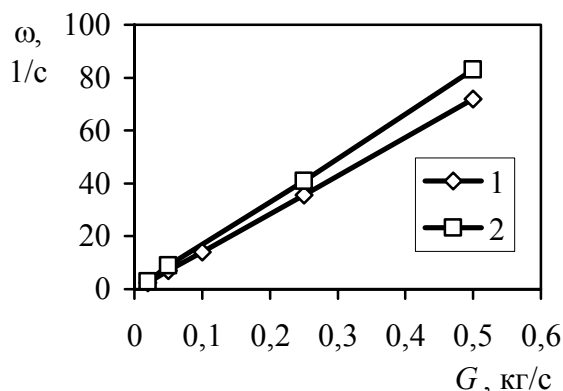


Рис. 5. Расходные характеристики первого и второго вариантов конструкции счетчика

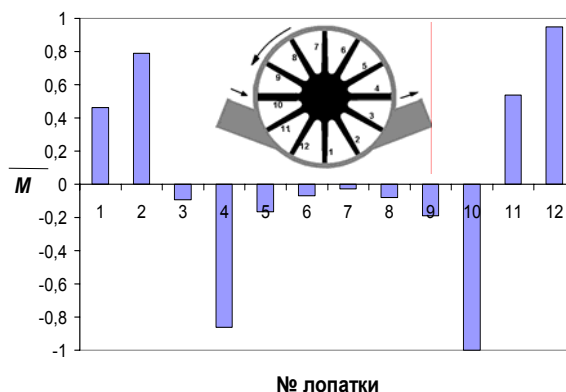


Рис. 6. Безразмерный момент сил, действующих на каждую из лопаток

Отрицательный вращательный момент на лопатках 3, 5–9 обусловлен главным образом силами трения, величина которого значительно меньше момента сил давления.

Анализ течения в счетчиках с крыльчаткой позволяет сделать вывод о необходимости увеличения активной зоны за счет уменьшения угла между осями подающего и отводящего патрубков до оптимального его значения. Кроме того, в пассивной зоне следует несколько увеличить зазоры, для снижения отрицательных моментов сил трения.

Список литературы: 1. Счетчики жидкости с овальными шестернями унифицированные ППО-25-1,6СУ. Паспорт 03-75-0.00.00 ПС // Концерн «Роснефтепродукт». Ливненское ПО «Промприбор».

© Тарасов А.И., Титов В.Б., Михайлова И.А., 2010
Поступила в редколлегию 15.02.10